
ELABORACIÓN DE LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA

**Preparado por:
Manuel Casado Piñeiro**

Enero 2010

INDICE

1.0 INTRODUCCIÓN	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Objetivo	2
1.3 Alcances.....	2
2.0 ANTECEDENTES Y SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA LADRILLERA EN EL PERÚ	4
2.1 Normatividad en el país.....	4
2.1.1 Normatividad General	4
2.1.2 Normatividad Específica	4
2.2 Aspectos tecnológicos y socioeconómicos.....	5
2.2.1 Proceso de producción de ladrillos.....	5
2.2.2 Materia prima e insumos utilizados.....	10
2.2.3 Articulación con otras actividades económicas.....	12
2.2.4 Ubicación de plantas industriales	12
2.2.5 Situación de la Actividad Ladrillera.....	13
2.3 Aspectos Ambientales	14
2.4 Fuentes de Generación de Emisiones a la Atmósfera.....	16
2.4.1 Tipos de Hornos utilizados en el Perú.....	17
3.0 LOS LMPs EN OTROS PAÍSES	20
3.1 Enfoque propuesto.....	20
3.1.1 Estrategias de Control de Emisiones	20
3.1.2 Priorización de Actividades Industriales	22
3.2 Compilación de normatividad de otros países.....	24
3.3 Análisis de casos y sustentos técnicos.....	26
3.3.1 Monitoreo y Seguimiento	28
3.3.2 Recomendaciones Especiales para Monitoreo	29
4.0 PROPUESTAS DE LMPs DE EMISIONES PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA	31
4.1 Comparación de emisiones con LMPs de otros países.....	31
4.1.1 Compilación de LMPs para Emisiones en el Perú	32
4.1.2 Resultados de Monitoreo de emisiones en ladrilleras del Perú	33
4.1.3 Gráficos Comparativos de LMPs y Mediciones Reales	33
4.2 Propuesta de Parámetros y Valores para LMPs.....	43
4.2.1 Definición de Parámetros a Evaluar	43
4.3 Valores de LMPs propuestos para Ladrilleras en Perú.....	45
5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXO	1

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Por encargo del Ministerio del Ambiente y del Programa Regional de Aire Limpio, PRAL financiado por la cooperación Suiza a través de SWISSCONTACT, se ha procedido a elaborar los Límites Máximos Permisibles (LMP) para Emisiones de la Industria Ladrillera en el Perú.

1.2 Objetivo

El objetivo del presente estudio es elaborar la propuesta de los parámetros y los niveles máximos permisibles con los cuales se podrían regular los niveles de emisión a la atmósfera, generados por las actividades de fabricación de ladrillos en el país, de manera tal que la implementación de dichos LMP's resulten costo-efectivos para las empresas industriales y éstas conviertan sus operaciones en eco-eficientes con las medidas que se propondrán para tal efecto

1.3 Alcances

El presente estudio propone LMP's aplicables a las operaciones en general de la industria ladrillera ubicada en la Clase 2693 Fabricación de Productos de Arcilla y Cerámica No Refractarias Para Uso Estructural, de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme-CIIU. Incluye a las ladrilleras que queman combustibles líquidos tales como Petróleo Residual o Diesel; combustibles sólidos como Carbón Mineral, Biomasa como cáscara de café, cáscara de arroz, madera, aserrín de madera; y también Gas Natural.

Para la elaboración del presente trabajo se han analizado actividades de empresas consideradas grandes, medianas, pequeñas, como también las micro empresas artesanales.

En las descripciones de proceso se han considerado las etapas más relevantes para efectos ambientales.

2.0 ANTECEDENTES Y SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA LADRILLERA EN EL PERÚ

2.1 Normatividad en el país

2.1.1 Normatividad General

Son de ingerencia en el presente estudio las normas de rango constitucional, leyes orgánicas y dispositivos con rango de ley que establecen las políticas generales de cuidado y protección del medio ambiente en el país, tales como:

- Constitución Política de 1993, Artículo 2º inciso 22º.
- Ley General del Medio Ambiente, Ley N° 28611
- Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, D.S. 074-2001-PCM
- Estándares de Calidad Ambiental para Aire, D.S. N° 003-2008-MINAM del 22-08-2008

2.1.2 Normatividad Específica

Las normas específicas están referidas a aquellas relacionadas con el Ministerio de la Producción como autoridad competente para la actividad de fabricación de ladrillos y otras normas que establecen LMPs para emisiones en el Perú:

- Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera, Decreto Supremo N° 019-97-ITINCI setiembre de 1997
- Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para Actividades Industriales de Cemento, Cerveza, Curtiembre y Papel, Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE - aprueban
- LMPs para las emisiones de la Industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos, Decreto Supremo N° 011-2009-MINAM

- Protocolos de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas, Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM del 28-02-2000
- Niveles máximos permisibles de elementos compuestos presentes en partículas y emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas, RM 315-96-EM/VMM, de fecha 15 de julio de 1 996

Adicionalmente se ha tomado en cuenta la propuesta de LMPs de emisiones para las actividades industriales de papel y cemento y para calderas de vapor de uso industrial, actualmente en proceso de aprobación.

2.2 Aspectos tecnológicos y socioeconómicos

2.2.1 Proceso de producción de ladrillos

Tal y como ilustra la Figura 1, el proceso de producción de Ladrillos comprende en general las siguientes etapas:

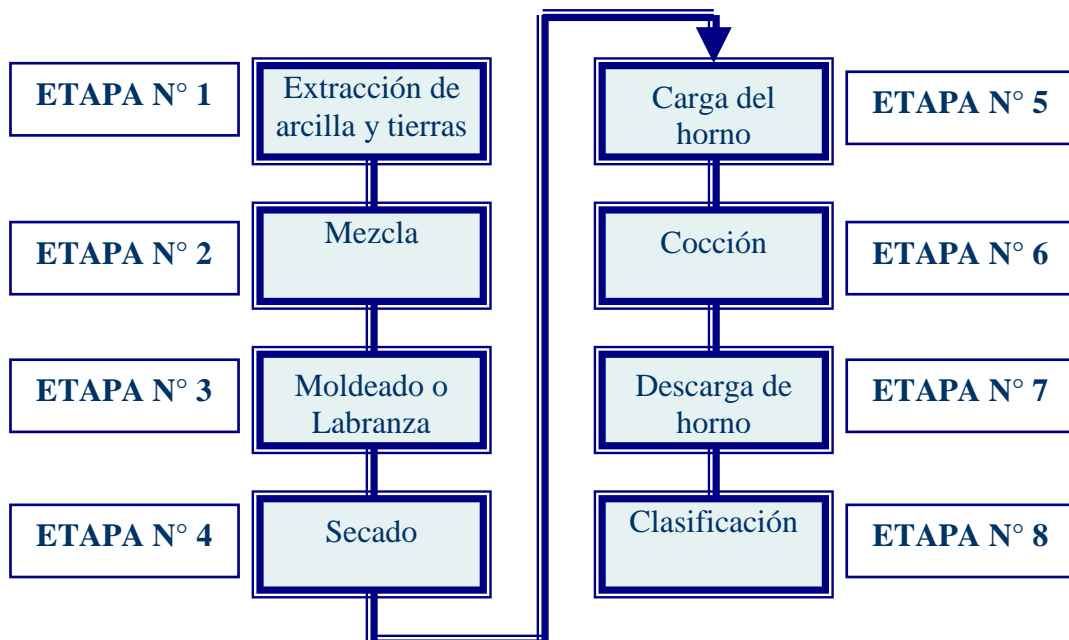
- **Extracción de arcilla y tierras,**
- **Mezcla y preparación**
- **Moldeo o Labranza**
- **Secado**
- **Carga del Horno**
- **Cocción**
- **Descarga del Horno**
- **Clasificación**

Extracción de Arcilla y Tierra

Según la ubicación y la disponibilidad de recursos de la empresa, la materia prima que consiste de arcillas plásticas y magras, caolín, dolomita, etc, se extrae de canteras propias o de terceros. Las actividades de extracción en mina se llevan a cabo en tajo abierto mediante el uso de

detonaciones, palas mecánicas y transporte pesado; o por excavación manual en el caso de las micro empresas artesanales. El material tal como es extraído se carga en camiones y se transporta a la zona de producción. En el subsector de ladrillos algunas zonas utilizan una mezcla de arcilla con tierra agrícola, cuyos porcentajes de mezcla varían de 50 a 80% de tierra, según el tipo y calidad del ladrillo que se desea obtener y del tipo y calidad de la arcilla disponible.

Figura 1. Diagrama de Flujo de la Fabricación de Ladrillos



Molienda y Mezcla

En esta etapa, la materia prima es tamizada previamente antes de pasar a la molienda. Existen diversas máquinas para realizar la molienda, sin embargo las más utilizadas son los molinos de impacto y rodillo. En el caso de las ladrilleras artesanales la molienda es manual y consiste básicamente en la selección y desmenuzamiento manual de los terrones de arcilla de mayor tamaño antes de pasar a la etapa de mezcla.

Una vez culminado el proceso de molienda se procede a la mezcla con agua para formar una “masa cerámica plástica”.

La mezcla en las ladrilleras grandes se realiza en mezcladoras mecánicas según la formulación establecida para el tipo de producto a fabricar. Primero se hace la mezcla de componentes en seco y luego se agrega agua hasta obtener la masa plástica.

En las ladrilleras artesanales, la mezcla se hace manualmente y es colocada en pozas construidas en el suelo donde es amasada por apisonado del propio artesano y/o sus familiares.

Moldeo

Consiste en vaciar la “masa cerámica plástica” en moldes para obtener el “ladrillo crudo”. El procedimiento de moldeo puede ser por vaciado manual en moldes, por extrusión en máquinas de moldeo plástico, o por prensado en seco.

El proceso de moldeo por extrusión es el que se utiliza en las grandes ladrilleras formándose un molde continuo el cual se corta de acuerdo a las medidas del producto que se va a fabricar.

El prensado es una tecnología intermedia por el cual se comprime la masa dentro del molde con ayuda de un compactador mecánico y permite moldear de una a cuatro unidades por prensado

En las ladrilleras artesanales el material mezclado se moldea manualmente sin comprimir de una a dos unidades por vez utilizando moldes metálicos o de madera con arena fina o ceniza como desmoldante para facilitar el retiro del molde de la mezcla.

Secado

El secado consiste en reducir la humedad del ladrillo crudo antes de su ingreso al horno de cocción. Los procesos de secado se pueden realizar en instalaciones con temperaturas y humedades controladas como las empresas industrializadas o también al aire libre como las empresas

artesanales. Este proceso origina cambios físicos en el ladrillo, principalmente la reducción del contenido de humedad.

El proceso de secado trae consigo una contracción de las piezas cerámicas lo cual origina tensiones en el material. Un inadecuado proceso de secado origina fallas (grietas) y por ende su descarte reciclándose a la etapa de molienda.

Carga del horno

El ladrillo crudo y presecado es cargado al horno y acomodado en un arreglo especial para permitir el encendido así como el flujo de fuego o de calor entre los ladrillos para una cocción uniforme.

Cocción

Es el proceso mediante el cual los ladrillos son cocidos y por acción del fuego y del calor se producen los cambios químicos que transforman la arcilla y los demás componentes en productos sinterizados o vitrificados con características estructurales de resistencia a la compresión. Esta es la etapa más importante en el proceso de fabricación porque cualquier falla significará la pérdida de la producción; así mismo, la cocción genera los mayores impactos de la actividad en la forma de emisiones atmosféricas procedentes de la quema de combustibles en los hornos donde se cuecen los ladrillos.

La cocción se realiza en hornos de tecnología diversa.

En nuestro país, para producciones industriales altas se utilizan principalmente hornos de alimentación continua como los Hoffman y de Túnel.

En el caso de las empresas ladrilleras micro y pequeñas en su gran mayoría de tipo artesanal, la cocción se realiza en hornos intermitentes de tiro ascendente tipo Escocés o tipo Parrilla, en los cuales el fuego va ascendiendo a través de las sucesivas capas horizontales de ladrillos hasta alcanzar las capas superiores.

Las temperaturas de cocción para ladrillos y otros productos de cerámica fina y de construcción empiezan a 950°C terminando el proceso de cocción como máximo en 1100 °C. Temperaturas superiores producen la fusión y pérdida del ladrillo.

Descarga del horno

Una vez que la cocción concluye, según la tecnología empleada en el proceso se ventila el horno o la cámara de cocción para enfriar el ladrillo cocido y retirarlo del horno. El manipuleo de los ladrillos en el proceso de descarga también puede generar emisiones fugitivas de polvo y cenizas al ambiente.

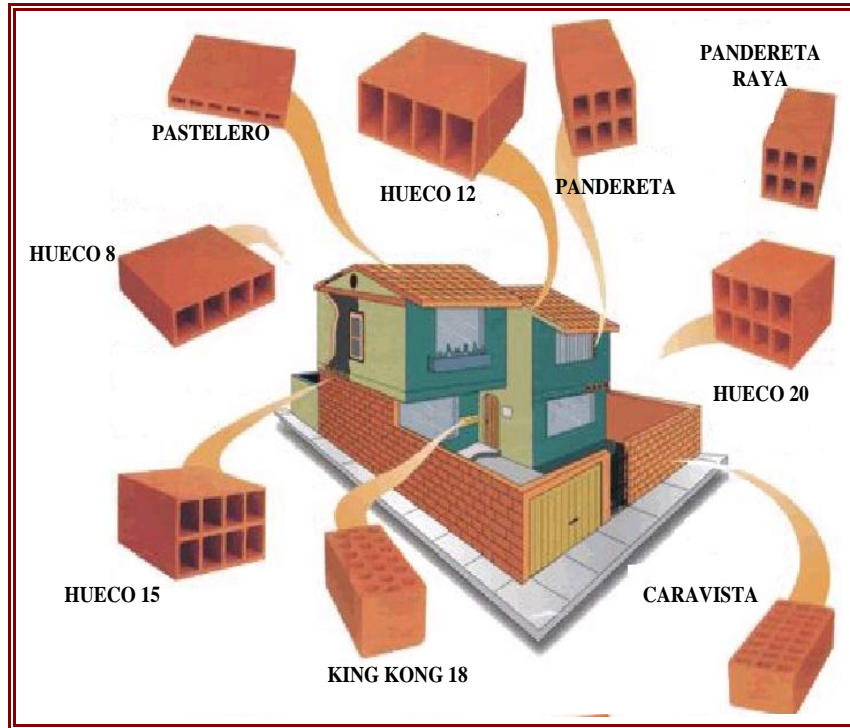
Clasificación

Los ladrillos descargados se clasifican según el resultado de la cocción. En las ladrilleras industrializadas se hacen pruebas de laboratorio por lotes para determinar si se están obteniendo las características estructurales requeridas.

Un ladrillo para ser bueno debe reunir cualidades de:

- Homogeneidad en toda la masa (ausencia de fisuras y defectos).
- Dureza para resistir cargas pesadas (resistencia a la flexión y compresión).
- Formas regulares, para que los muros construidos sean de espesor uniforme (aristas vivas y ángulos rectos).
- Coloración homogénea, salvo que se tenga interés en emplearlos como detalle arquitectónico de coloración.

Fig. 2 Tipos de ladrillos producidos en el Perú



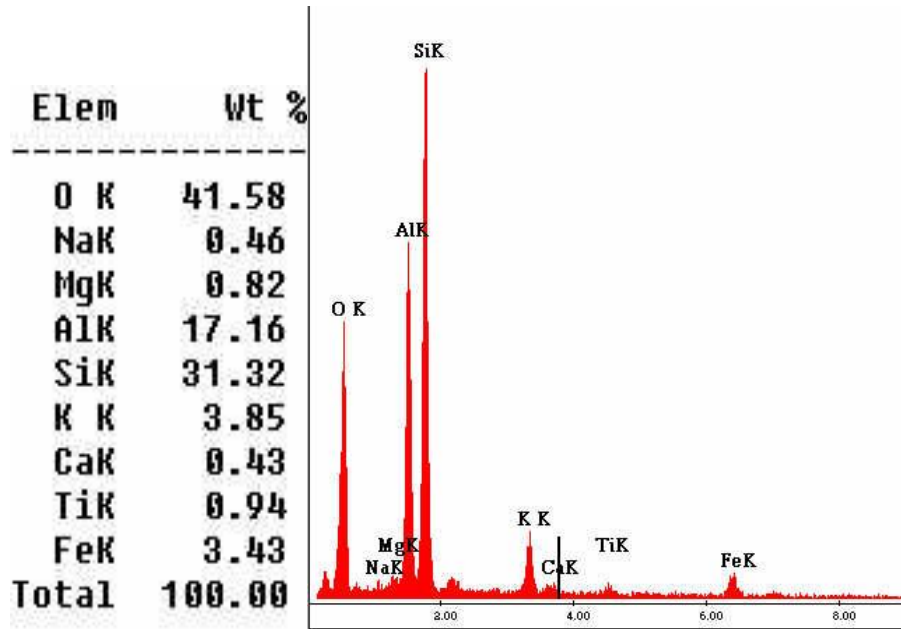
2.2.2 Materia prima e insumos utilizados

La principal materia prima es la arcilla que es una sustancia mineral plástica compuesta principalmente de silicatos de aluminio hidratados en su mayor parte y en menor proporción por minerales y sustancias de naturaleza orgánica.

La arcilla no posee en su composición elementos o sustancias cuya vaporización o emisión pueda representar riesgo para la salud humana o los ecosistemas.

Entre sus componentes básicos destacan las materias plásticas como el caolín y la arcilla y los no plásticos o antiplásticos, como el cuarzo, la arena o la pegmatita, que prestan un papel fundamental en el proceso de transformación de los materiales dentro del horno, actuando como fundentes.

Figura 3 Composición de Arcilla del Cusco



No se utiliza insumo alguno propiamente dicho a excepción del recurso agua y combustible. La materia prima se mezcla directamente con agua para la preparación de la masa plástica y eventualmente se incluye en la formulación algunos elementos combustibles para mejorar la cocción como cáscara de arroz o carbón mineral.

La fabricación de ladrillos utiliza combustibles en las operaciones de cocción y en algunos casos en el secado. La actividad también consume agua proveniente en su mayoría de pozos del subsuelo.

Las emisiones atmosféricas generadas durante la cocción, están directamente relacionadas al tipo de combustible. Los principales problemas de contaminación atmosférica se ocasionan principalmente por el uso de llantas y aceites usados como combustibles generando un alto contenido de partículas con sustancias peligrosas. Tecnologías mas modernas utilizan combustibles mas limpios,

requieren de menor tiempo de cocción y emiten menor cantidad / concentración de contaminantes al aire

Según el tamaño y tecnología de cocción se utilizan los siguientes combustibles:

- Hidrocarburos líquidos como diesel o residual,
- Sólidos como carbón mineral,
- Biomasa como aserrín de madera, cáscara de arroz y de café, madera y hojas de eucalipto, madera de algarrobo,
- Gaseosos como Gas Natural utilizado por algunas ladrilleras en Lima.
- Deshechos como llantas y aceite lubricante usado.

2.2.3 Articulación con otras actividades económicas

La Fabricación de Ladrillos es una actividad ligada al sector minero con el cual se articula hacia atrás mediante la explotación de yacimientos de arcilla de donde obtiene la materia prima. Indirectamente también está ligada al sector comercial para la adquisición de equipos de molienda y mezcla; y al sector metalúrgico para el abastecimiento de partes consumibles de los molinos.

Hacia delante está vinculada como insumo principalmente del sector de la construcción.

2.2.4 Ubicación de plantas industriales

Las empresas ladrilleras están ampliamente distribuidas a nivel nacional. Las empresas de mayor capacidad se encuentran ubicadas en la Ciudad de Lima, en las afueras o en la periferia. Por el contrario, la gran mayoría de empresas ladrilleras de micro y pequeño tamaño se encuentran distribuidas en todo el territorio nacional.

Las ladrilleras artesanales generalmente se agrupan en zonas geográficas lo más cercanas posible a la fuente de materia prima. Estas empresas poseen el mayor margen de informalidad del subsector y han venido utilizando combustibles altamente contaminantes como llantas usadas, residuos plásticos, aceite lubricante usado, así como leña, aserrín, cáscara de café o de arroz, entre otros.

2.2.5 Situación de la Actividad Ladrillera

Las ladrilleras grandes ubicadas en Lima están formalizadas y casi todas cuentan con procesos de adecuación ambiental. Poseen en su mayoría tecnología moderna con hornos Hoffman o de túnel en base a quemadores de residual, diesel, carbón, biomasa, o una combinación de éstos, lo cual permite realizar mediciones directas de emisiones en las chimeneas. Los LMPs de referencia asumidos por las empresas en sus respectivos instrumentos de adecuación ambiental presentados a PRODUCE provienen de diferentes fuentes siendo las principales la Corporación Financiera Internacional, IFC, del Banco Mundial, la Comunidad Económica Europea, Reino de España, República Bolivariana de Venezuela, entre otras.

Por su parte las ladrilleras pequeñas y micro son en su gran mayoría informales y utilizan técnicas de fabricación variadas que pueden ser artesanales en todo el proceso o una combinación de artesanales con mecanización en algunas etapas. Los hornos de cocción utilizados por estas empresas son de tipo artesanal sin chimeneas y no permiten medir directamente las emisiones.

En los últimos años, el Programa Regional de Aire Limpio con el apoyo de la Cooperación Suiza a través de SWISSCONTACT, viene realizando trabajos de apoyo técnico y de gestión a las ladrilleras artesanales en Arequipa, Cusco y otras ciudades, con la finalidad de promover mejoras en los procesos de producción que permitan reducir su emisión de contaminantes. En este marco se realizó un

Proyecto Demostrativo en Arequipa¹ colocando una chimenea en un horno artesanal y se midió la concentración de emisiones. Estos resultados también han sido considerados en el Capítulo correspondiente del presente documento para la formulación de la propuesta de LMPs.

Las acciones de adecuación ambiental que se promuevan para las ladrilleras artesanales deben considerar sus características de que pertenecen al sector de la micro y pequeña empresa, son empresas familiares y están generalmente agrupadas en zonas geográficas por lo que deben ser consideradas como fuentes de emisión de área y sus acciones de adecuación pueden ser manejadas en forma asociativa. Son una buena opción para celebrar Acuerdos de Producción Limpia².

2.3 Aspectos Ambientales

Los aspectos ambientales propios de la fabricación de ladrillos incluyen:

- ◇ Emisiones a la atmósfera
- ◇ Calidad del Suelo
- ◇ Generación de residuos sólidos
- ◇ Consumo de energía y combustibles

El principal impactos que genera la actividad de fabricación de ladrillos es sobre la calidad del aire y en segundo lugar sobre la morfología del terreno. En el primer caso debido principalmente a las emisiones de humos procedentes de los hornos en la etapa de cocción (ver Cuadro 2.1) que causan efectos directos e indirectos sobre la salud humana, la flora, la fauna, los cuerpos de agua, y contribuyen al

¹ SWISSCONTACT, PRAL, Elaboración de Guía de Buenas Prácticas y Proyecto Demostrativo para Ladrilleras, Manuel Casado, 2004-2005.

² Instrumento de Gestión Ambiental que establece compromisos de adecuación entre la Autoridad Ambiental competente y un grupo de titulares de actividades comunes (p.ej. Ladrilleras).

cambio climático global. En el segundo caso porque la explotación de las canteras produce excavaciones que no solamente afectan el paisaje sino también la estructura y configuración del terreno ocasionando deforestación, pérdida de la capa productiva del suelo, y erosión.

La actividad no genera efluentes de proceso, pero si residuos sólidos inertes constituidos por los escombros provenientes de los productos rechazados por rotura o deficiente cocción y que según el Diagnóstico Ambiental del subsector Cerámica y Ladrillos³ se encuentran por debajo del 5%, y que según encuestas entre los microempresarios ladrilleros artesanales entrevistados por el autor están entre 5% y 15%.

Cuadro 2.1: Contaminantes que genera el proceso productivo

Etapas	Actividades que Generan Contaminantes	Tipo de Contaminantes
Extracción de Arcilla	<ul style="list-style-type: none"> • Extracción con herramientas manuales 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasas Partículas en suspensión
Mezclado	<ul style="list-style-type: none"> • Tamizado y selección • Mezcla de arcillas con agua y arena 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas en suspensión • Consumo de agua
Moldeado	<ul style="list-style-type: none"> • No generan contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno
Secado	<ul style="list-style-type: none"> • El secado de los moldes al aire libre solo se desprende vapor de agua. Los moldes defectuosos son reciclados a la etapa de moldeado 	<ul style="list-style-type: none"> • No representativo
Carga del horno	<ul style="list-style-type: none"> • No genera contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno
Cocción	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de combustibles diversos: hidrocarburos líquidos, carbón de piedra, biomasa (aserrín de madera, cáscara de café, ramas y leña de eucalipto, llantas y aceite usado) 	<ul style="list-style-type: none"> • Material Particulado • Dióxido de azufre • Dióxido de nitrógeno • Monóxido de Carbono • Dióxido de Carbono
Descarga del horno	<ul style="list-style-type: none"> • Apertura de horno, manipulación de ladrillos, limpieza de ceniza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas en suspensión
Clasificación	<ul style="list-style-type: none"> • Descarte de productos rotos, fisurados, mal cocidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos sólidos inertes

Fuente: Elaboración propia

³ PA Consulting, “Diagnóstico Ambiental del Subsector Cerámica y Ladrillos”, 2001, M. Casado, H. Cáceres et al. 2001-2003. Documento preparado para CONAM y el Ministerio de la Producción

El Cuadro 2.2 muestra los niveles de impacto ambiental producidos por las diferentes etapas del proceso de fabricación.

Cuadro 2.2: Nivel de Impactos Ambientales producidos por la fabricación de ladrillos

Fuente de Generación (etapas)	NIVEL DE IMPACTO AMBIENTAL(1)					
	Agua	Aire	Suelo	Ruido	Vibraciones	Residuos Sólidos
Extracción en Canteras		Medio	Alto	Alto	Bajo	
Molienda		Medio		Alto	Bajo - Medio	
Mezcla	Bajo	Medio		Medio	Bajo	
Moldeo				Bajo		
Secado				Bajo	Bajo	
Cocción		Alto		Bajo - Medio	Bajo	Bajo - Medio
Clasificación				Medio – Alto		

Fuente: Elaboración propia

(1) Se considera un nivel general incluyendo ladrilleras industriales y artesanales bajo los siguientes criterios::

Bajo: Los impactos ambientales generados son poco notorios e insignificante, no ocasionan molestias en el área de influencia directa ni indirecta. Los contaminantes no presentan riesgos para la salud o el entorno.

Medio: Los impactos ambientales son notorios para observadores entrenados y pueden eventualmente superar los estándares y límites máximos permisibles existentes. Los contaminantes no presentan riesgos para la salud o el entorno.

Alto: Los impactos ambientales son significativos y muy notorios, pueden ocasionar molestias en el área de influencia directa ni indirecta. Los contaminantes pueden presentar riesgos para la salud o el entorno debido a su cantidad y/o intensidad.

2.4 Fuentes de Generación de Emisiones a la Atmósfera

La principal fuente de generación de emisiones de gases en la industria ladrillera es la combustión en los hornos. Las emisiones atmosféricas resultantes de la etapa de cocción están constituidas por el vapor de agua resultante de la deshidratación de la masa de ladrillos crudos.

Otras fuentes menores son las emisiones fugitivas de partículas asociadas con la manipulación y manejo de la materia prima incluido la molienda y el mezclado, la

descarga de los ladrillos cocidos, la manipulación y almacenamiento de combustibles sólidos.

2.4.1 Tipos de Hornos utilizados en el Perú

Los tipos básicos de hornos que se utilizan para la fabricación de ladrillos en el Perú son:

De Parrilla

Son hornos de operación intermitente y de tiro vertical ascendente que son utilizados por los ladrilleros artesanales en algunas zonas del país, principalmente en Cusco. Pueden tener forma redonda o rectangular con un orificio, ventanilla o “trонера” para la alimentación de combustible por la parte inferior. Se denominan así porque un emparrillado separa la zona de combustión de la zona de cocción. Los ladrillos crudos se cargan por la parte superior y se depositan en la parrilla. El horno se enciende en la ventanilla por debajo de la parrilla y se vá alimentando combustible conforme avanza el proceso de cocción. Las llamas y el calor procedente de la zona de combustión van cociendo los ladrillos de abajo hacia arriba hasta que el operador calcula que ya se ha cocido toda la carga entonces se suspende la alimentación de combustible y se deja enfriar para descargar el ladrillo cocido e iniciar otra carga. El proceso de cocción es muy ineficiente por lo que genera una gran cantidad de Monóxido de Carbono y partículas sobre todo en el encendido. Tradicionalmente se utilizaba como combustible llantas, aceite lubricante usado, aserrín, madera y ramas de eucalipto. Actualmente se ha conseguido introducir el uso de Carbón mineral como principal combustible y se utilizan aserrín y eucalipto solo para el encendido habiéndose erradicado totalmente el uso de llantas y lubricantes usados en esta operación.

Sus capacidades de producción varían entre 2 a 8 millares de ladrillos por quema y pueden realizar hasta 5 quemas por mes. No poseen chimeneas y no se pueden hacer mediciones directas de emisiones.

Clamp o Escocés modificado

Son de operación intermitente y de tiro vertical ascendente. Son los más ampliamente usados por los ladrilleros artesanales a lo largo del país. Son de forma rectangular sin techo con ventanillas en la parte inferior que atraviesan el horno de lado a lado, .La carga de ladrillos se acomoda al interior manteniendo en la parte inferior una abertura que sigue la forma de las ventanillas para permitir el ingreso de aire y combustible en el encendido del horno. Una vez que el horno ha encendido, se sellan con barro y ladrillos cocidos las ventanas y el techo dejando en este último una pequeña grieta para permitir el escape de humo y vapor así como la vigilancia del proceso de cocción. Cuando la cocción ha terminado, se retira el techo y se abren las ventanillas para dejar enfriar, luego se descarga y se reinicia otro ciclo de cocción. La cocción sigue teniendo una baja eficiencia pero es mayor que la de los hornos de parrilla.

Actualmente utilizan como combustible principal carbón mineral, aserrín de madera, cáscara de arroz o de café, leña de algarrobo o de otras especies; y en muy pocos lugares apartados de las ciudades todavía se utilizan llantas.

Sus capacidades de producción varían entre 4 a 40 millares de ladrillos por quema y pueden realizar de 4 a 5 quemas por mes. No poseen chimeneas y no se pueden hacer mediciones directas de emisiones.

Hornos Hoffman

Son de operación continua y de alta producción. Son de planta rectangular compuesta por una gran galería anular de sección abovedada dividida en cámaras cuya longitud y número de bocas es variable. Este sistema permite que el fuego circule de forma permanente durante todo el proceso de cocción a lo largo de cada uno de los compartimentos. Los ladrillos se colocan en el horno y el quemador se instala en la parte superior

empezando por la primera cámara. Una vez cocidos los ladrillos de la primera cámara, el quemador se traslada a la segunda cámara mientras se enfría la primera. De este modo, la cocción se desplaza por la nave de forma secuencial, mientras en una sección se está cociendo el material, en la siguiente, se empieza a elevar la temperatura al tiempo que en la anterior, el material ya cocido, empieza a enfriarse permitiendo ser descargado y llenado de nuevo. Así, se eliminaron los cambios bruscos de temperatura consiguiendo una cocción paulatina y homogénea y un funcionamiento del horno más eficiente al aprovecharse al máximo el calor generado.

Utilizan como combustible petróleo residual y carbón mineral pulverizado a veces mezclado con aserrín, cáscara de arroz o de café.

Producen en forma continua hasta 80 o 90 millares de ladrillos por día.

Hornos de Túnel

Son de tecnología similar a los Hoffman con la diferencia que en este caso el quemador está fijo y lo que se va moviendo es la carga de ladrillos a través de un sistema de rieles.

Utilizan los mismos combustibles que los Hoffman y tienen capacidades de producción similares.

3.0 LOS LMPs EN OTROS PAÍSES

3.1 Enfoque propuesto

3.1.1 Estrategias de Control de Emisiones

Una estrategia de control de la contaminación del aire debe formar parte de un plan general para abordar los problemas de contaminación y para asegurar que las concentraciones de contaminantes sean reducidas o mantenidas por debajo de un nivel que se considere aceptable. Estas estrategias pueden ser a corto o a largo plazo, pueden variar de un país a otro, así como también con el tiempo puede variar el nivel de contaminación que se considera aceptable.

Existen elementos comunes que permiten distinguir cuatro tipos de estrategias:

- 1) gestión de la calidad del aire,
- 2) estándares de emisión,
- 3) costo-beneficio,
- 4) económicas.

Aunque las cuatro estrategias pueden separarse para discutir sus principales características, en la práctica los países frecuentemente adoptan una combinación de ellas. A continuación se describen las tres primeras.

3.1.1.1 Estrategia de Gestión de la Calidad del Aire

La estrategia de Gestión de la Calidad del Aire supone la designación de un nivel de contaminación considerado como aceptable en los términos de un conjunto de estándares de calidad de ambiente (al aire libre), controlando luego las emisiones de contaminantes para asegurarse de que esos límites legales no sean excedidos.

Obviamente una propuesta que implica la regulación de las emisiones de miles de fuentes fijas y móviles que tienen características, situaciones y

modelos de uso variables no es sencilla y, la estrategia produce un complicado y costoso paquete de normativa y fiscalización.

3.1.1.2 Estrategia de los Estándares de Emisión

La estrategia de los estándares de emisión especifica la máxima cantidad o concentración de un contaminante que se permite emitir en una fuente dada. Los estándares de emisión se establecen para un gran número de contaminantes o combinación de contaminantes y pueden aplicarse a grupos específicos o áreas y a emisores individuales. Si los estándares de emisión se derivan de la consideración de los estándares de calidad del aire, esto convierte a los estándares de emisión en una parte de la estrategia de gestión de la calidad del aire. Si los estándares de emisión se derivan de la consideración de la mejor tecnología de control y de otras consideraciones de índole económico, esta estrategia puede considerarse, entonces independiente de la estrategia de gestión de la calidad del aire. Con frecuencia se alude a esta estrategia como “la mejor tecnología de control disponible y económicamente viable”. Esta propuesta pretende reducir la contaminación del aire en la mayor medida posible con los métodos prácticos disponibles, pero con la condición de que el costo de las medidas de aplicación y control no resulte excesivo.

Dado que resulta más caro instalar aparatos de control de contaminación en los equipos existentes que en los nuevos, esta estrategia puede conducir de ser conveniente, a la determinación de requisitos diferentes para los casos de instalaciones existentes (en curso) y nuevas, haciendo posible por tanto, según avanza la tecnología, establecer un estándar más bajo de emisión para las nuevas instalaciones.

La estrategia de estándares de emisión es una estrategia relativamente simple de aplicar y por ello ha sido inicialmente adoptada por muchos países con la intención de prevenir y controlar la contaminación.

3.1.1.3 Estrategia de Costo-Beneficio

La estrategia del costo-beneficio pretende, en primer lugar, cuantificar los costos de todos los daños producidos por los contaminantes del aire y los costos de todos los medios conocidos para controlar dichos contaminantes, para después adoptar la opción u opciones que minimicen la suma de los daños producidos por contaminación y los costos para su control.

3.1.1.4 Estrategia Propuesta:

Nuestra propuesta de LMP para ladrilleras en el Perú se basa en la Estrategia de los Estándares de Emisión, ya que no existe suficiente información de calidad de aire, ni de emisiones de otras fuentes (transporte, actividades industriales, comercios, etc.), que permita saber cuánto deben reducir las emisiones para cumplir con un el nivel de estándar de calidad de aire en una determinada zona geográfica, en las estaciones del año, entre otras variables. En cambio contamos con información sobre monitoreos de emisiones de los diversos hornos utilizados así como con datos comparativos de LMPs de otros países y de otras actividades industriales del país que guardan similitud con la generación de gases de combustión de la industria ladrillera.

3.1.2 Priorización de Actividades Industriales

La selección de actividades productivas o de servicios que requieren contar con LMPs en un país depende de la importancia y prioridad de la actividad relacionada con los riesgos de contaminación ambiental que su desarrollo representa en el contexto geográfico y territorial para la salud de la población y la estabilidad de los ecosistemas circundantes. También puede depender de la disponibilidad de recursos para priorizar su atención.

En nuestro país, la actividad ladrillera es particularmente relevante desde el punto de vista ambiental y de percepción de la población, entre otras cosas porque el gran porcentaje de informalidad en el subsector ha propiciado el uso de combustibles altamente contaminantes como llantas, aceite lubricante, plásticos, ramas y follajes, etc., en hornos de fuego directo sin chimeneas, lo cual produce humaredas oscuras principalmente durante el período de encendido, que son visualizadas por las poblaciones cercanas originando sus quejas y reclamos al sentirse afectadas por esta actividad.

Para el propósito de definir LMPs para cualquier actividad industrial en el Perú, resulta interesante conocer y comparar los LMPs de otros países que han pasado por la misma experiencia; sin embargo, se ha revisado normatividad ambiental de diversos países sin encontrar normas específicas para la actividad ladrillera. Ni aún el Banco Mundial que, a través de su agencia financiera para la empresa privada, el IFC, posee la más amplia gama de valores límites de emisiones para diversas actividades industriales en su Manual de Prevención y Reducción de la Contaminación, ha establecido límites para la actividad ladrillera. Una de las razones de esto sea posiblemente que, tal como se explica en el capítulo 2.2.2, la materia prima (arcilla) no posee en su composición elementos o sustancias cuya vaporización o emisión pueda representar riesgo para la salud humana o los ecosistemas, concentrándose la emisión de contaminantes de la actividad en los componentes de los combustibles utilizados para la cocción de los ladrillos en el horno; lo cual significa que la contaminación generada por las emisiones de la industria ladrillera es una función directa de la contaminación generada por los gases de la combustión y, por tanto, los parámetros de control de emisiones deben ser los mismos que de estos gases.

En tal sentido, para efectos de comparación de LMPs, se han seleccionado valores de gases de combustión de diferentes organizaciones y países.

3.2 Compilación de normatividad de otros países

El IFC del Banco Mundial cuenta con LMP aplicables para emisiones atmosféricas provenientes de instalaciones de combustión de proyectos industriales que financia en cualquier país del mundo, los cuales se muestran en el Cuadro N° 3.1

Cuadro N° 3.1: Guías sobre emisiones en instalaciones de combustión

Contaminante	Combustible	Limite Máximo(1) (mg/Nm³)
Partículas	Gas	NA ¹⁾
	Líquido	150
	Sólido*	150
SO ₂	Gas	NA
	Líquido	2000
	Sólido*	2000
NO _x	Gas	320
	Líquido	460
	Sólido*	650

Fuente: *Guías Generales sobre Medio Ambiente, Emisiones al Aire y Calidad del Aire. IFC del Banco Mundial (2007)*

* Combustible Sólido incluye carbón y biomasa

(1) Concentraciones referidas a 3 % de exceso de O₂ para Gas y Líquido y 6 % O₂ para Carbón.

Igualmente otra referencia son los límites establecidos en la Reglamentación Ambiental de Cataluña (España): *Decreto 319/1998 - Límites de emisión para instalaciones industriales de combustión e instalaciones de cogeneración*. Este dispositivo es relativamente simple, realista y tiene suficiente alcance para distintas instalaciones de combustión industriales.

Una norma relacionada con España es la R.D. N° 646/1991 de la Comunidad Económica Europea que contiene los límites sugeridos para los países miembros. No establece límites para Partículas dejándolo a consideración de la legislación de cada país miembro. Esta norma comparada con la mencionada de España, es

más restrictiva en cuanto al SO₂, es similar para el NO_x, pero permite emisiones mayores de CO.

Cuadro N° 3.2: Límites de emisión para instalaciones de combustión (España)

Contaminante	Limite de emisión (mg/Nm ³) ⁽¹⁾				
	Gas	Líquido ⁽²⁾			Carbón
		Fuel Pesado (PR-500)	Fuel BIA (PR- 5 ó 6)	Gasoil (Diesel)	
Partículas sólidas	-	130			150
SO ₂	300	5200	2000	700	6000 (lignito) 2400 (otros)
NO _x	450	650	650	450	-
CO	100	500			500
Opacidad	-	4 (Indice Bacharach)			-

Fuente : Decreto 319/1998 de España (Cataluña)

(1) Concentración referida a 3 % O₂ para Gas y Líquido y 6 % O₂ para Carbón.

(2) Entre paréntesis se indica el combustible equivalente en el Perú.

Otro caso de interés es el de México donde existen niveles de emisión diferenciados en función de las condiciones de la Calidad de Aire de la zona, habiendo establecido así valores diferentes para la Zona Metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) , Zonas Críticas (ZC) y resto del país; siendo los límites para la ZMCM los más estrictos por la situación de contaminación seria que existe en la ciudad de México. Para efectos comparativos hemos seleccionado los valores para Zonas Criticas En el Cuadro 3.3 se muestran los niveles permisibles de emisión aplicables según la norma Mexicana NOM-085-ECOL-1994.

Cuadro N° 3.3: Niveles máximos permisibles de emisión según Norma Mexicana - ZC

Contaminante	Gas	Líquido	Sólido
Partículas (mg/m ₃)	NA	250	250
SO ₂ (mg/m ₃)	2880	2880	2880
NO _x (mg/m ₃)	207	207	207
Opacidad	0	3	NA

Otra referencia a considerar es también Venezuela, que en el Decreto Presidencial 2225: Norma sobre la Contaminación Atmosférica, establece límites para SO₂, NO_x y CO, más no para Partículas.

Finalmente, un comentario sobre el caso de los Estados Unidos. La regulación ambiental general de la EPA (Environmental Protection Agency) para instalaciones de combustión se establece en el documento de Julio 1995 denominado **CODE OF FEDERAL REGULATIONS - 40 PART 60 - SUBPART Dc : Standards of Performance for Small Industrial-Commercial-Institutional Steam Generating Units**. En este documento se establecen LMPs para combustibles líquidos, de 0,5 Lb/MMBtu (aprox 740 mg/Nm³) para emisiones de SO₂ y 20% de Opacidad como medida indirecta de Partículas. No hay restricciones para emisiones de CO, NO_x, Hidrocarburos; ni para calderas que queman Gas.

3.3 Análisis de casos y sustentos técnicos

A diferencia del Banco Mundial, el LMP de España-Cataluña establece límites para CO, es más detallado en cuanto a límites de emisión de SO₂, (por el tipo de combustible); y en el caso de las partículas, permite sólo determinación de Opacidad para instalaciones menores. Estos LMP son un poco más permisibles que los del IFC, en cuanto al SO₂ pues el contenido de azufre en algunos combustibles de España principalmente en el más utilizado que es el Fuel Pesado, equivalente a nuestro Residual 500, es más del doble que en el Perú:

- Fuel Pesado : < 3,5% (el equivalente en Perú es el PR-500 que llega hasta 1,5% Azufre)
- Fuel BIA : < 1% (En Perú este valor es algo parecido en un PR-5, y algo difícil en PR-6)
- Gasoil: < 0.2% (El equivalente es el Diesel 2, con un contenido de azufre < 0,4%)

En comparación con los LMP del Banco Mundial, los LMP de México resultan más estrictos en cuanto a NOx, ligeramente más permisivos en SO2 y más permisivos en partículas. Aquí cabe mencionar que para la Zona de Ciudad de México el LMP para Partículas tiene un valor mucho más estricto de 75 mg/m³; lo cual es comprensible por la situación de contaminación crítica que existe episódicamente en la ciudad de México debido a su ubicación topográfica. También cabe señalar que en México el Diesel tiene un contenido de azufre de 0,47% en promedio, y los combustibles pesados hasta 4% de azufre. En este país se procesa 100% crudo nacional y no hay posibilidad de mezclarlo con crudos más dulces, como ocurre en Perú, a fin de obtener un combustible con menor contenido de azufre. Por otro lado, la norma mexicana incluye la posibilidad de mediciones de Opacidad en los combustibles líquidos.

En el caso de Venezuela los límites para Azufre son también muy permisivos como en el caso de España, debido a que tienen una situación de combustibles similar a la de México ya que también procesan 100% de crudo nacional y sus combustibles tienen un alto contenido de azufre. La norma venezolana no establece límites para Partículas pero sí para Monóxido de Carbono.

A diferencia de las legislaciones de España, México y lo que establece el Banco Mundial, la legislación de Estados Unidos para emisiones de gases de combustión no resulta ser muy exigente, además es un país cuya realidad es muy diferente a la nuestra e inclusive a la de países europeos como España por lo que no lo consideramos una referencia válida para comparación.

En el Cuadro 3.4 se muestra en conjunto los valores de LMPs establecidos por los países mencionados líneas arriba y también los del IFC del Banco Mundial, donde puede observarse las tendencias de valores para cada contaminante.

Cuadro 3.4. Valores de LMPs en Organizaciones y Países (mg/Nm³)

	Comb.	Partículas	SO ₂	NO _x	CO	PAÍS/ORG.	AREA
Guías del IFC del Banco Mundial-Gas	Gas	NA	NA	320	-	BANCO MUNDIAL	EMISIONES DE COMBUSTIÓN
	Líquido	150	2000	460	-		
	Sólido	150	2000	650	-		
NOM-085-ECOL 1994 Mexico	Todos	250	2880	207	-	MEXICO	EMISIONES DE COMBUSTIÓN
D 319/1998- España	Gas	-	300	450	100	ESPAÑA	EMISIONES DE COMBUSTIÓN
	Líquido	130	5200	650	500		
	Sólido	150	2400	-	500		
R.D. 646- 91/CEE- EUROPA	Todos	-	400	650	1150	EUROPA	EMISIONES DE COMBUSTIÓN
Dec. 2225 de Venezuela	Todos	-	5000	540	1311	VENEZUELA	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

3.3.1 Monitoreo y Seguimiento

El monitoreo o medición de concentraciones deberá seguir los lineamientos y condiciones establecidas en el Protocolo de Monitoreo de Emisiones del Ministerio de la Producción (Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM del 28-02-2000) y debe ser realizado por empresas especializadas que posean procedimientos de muestreo y análisis certificados por INDECOPI.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre los parámetros objeto del seguimiento. Cuando se inicia una actividad, por ejemplo en el primer año, los monitoreos deben ser frecuentes recomendándose trimestral en los primeros 6 meses. De obtener en estos monitoreos valores de concentración de contaminantes por encima de los LMPs o valores referenciales, se debería continuar con el monitoreo trimestral hasta asegurarse de obtener

disminución de estas concentraciones; caso contrario alargar la frecuencia a monitoreo semestral. Luego del segundo año, si los valores se han mantenido por debajo de los LMP o valores referenciales; la frecuencia del monitoreo puede aumentarse primero semestral y luego hasta una vez al año.

La responsabilidad del seguimiento deberá recaer en profesionales formados preferiblemente con experiencia, quienes deberán asegurarse que sean aplicados los procedimientos de seguimiento y registro estandarizados utilizando equipos adecuadamente calibrados y mantenidos.

Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así conducir un adecuado proceso de fiscalización ambiental que permita adoptar oportunamente las medidas correctivas necesarias.

3.3.2 Recomendaciones Especiales para Monitoreo

Si bien es cierto las mediciones directas de fuentes de emisiones a través del muestreo en chimeneas y análisis en laboratorio es un enfoque claro y el método más usado porque proporciona resultados precisos como principal ventaja, no debe perderse de vista su costo y los requisitos de facilidades instaladas que requiere su ejecución; en el contexto de los estudios de manejo ambiental, este método puede demandar demasiado tiempo y costos e incluso ser poco práctico para determinadas circunstancias o para realidades como las que se presentan en el caso de los hornos de las ladrilleras artesanales ubicadas en lugares apartados y casi remotos.

Es por ello que se recomienda utilizar el método de medición directa en los casos donde sea aplicable, y en los casos donde no sea aplicable por razones técnicas o económicas, utilizar el método de la “Guía sobre técnicas para el inventario

rápido de la contaminación ambiental” recomendada por la OMS⁴. Las concentraciones de emisiones en gases de combustión deben medirse por cálculo mediante factores de emisión por ser hornos que no cuentan con facilidades apropiadas para medición por instrumentos. Otro método que puede ser utilizado es el índice de Bacharach que puede ser correlacionado con concentraciones de partículas.

Cabe mencionar que la aplicación de cálculo por factores de emisión requiere una certificación de la composición del combustible líquido, sólido o gaseoso utilizado, lo cual es factible para todos los combustibles líquidos y gaseosos. En el caso de los combustibles sólidos es factible obtener la composición del Carbón Mineral más no así las de los combustibles de biomasa como aserrín, cáscara de café, cáscara de arroz, madera de algarrobo, eucalipto, lupuna y otras.

⁴ ECONOMOPOULOS, Alexander P. “Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire, Guía sobre técnicas para el inventario rápido de fuentes y su uso en la formulación de estrategias para el control ambiental”. Serie de Tecnología Ambiental de la OMS, OPS/CEPIS/PUB/02.92. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2002

4.0 PROPUESTAS DE LMPs DE EMISIONES PARA LA INDUSTRIA LADRILLERA

4.1 Comparación de emisiones con LMPs de otros países

La materia prima para la fabricación de ladrillos no contiene elementos contaminantes porque está constituida básicamente por arcilla con agua y el proceso de cocción consiste en eliminar el contenido de agua de la masa de ladrillo cruda hasta el punto de sinterización de la arcilla en donde comienzan los cambios químicos de sus componentes para darle las características de compactación y resistencia que la convierten en el cerámico conocido como ladrillo. Es por ello que los agentes contaminantes de las emisiones gaseosas de este subsector son casi en su totalidad los que están presentes en el combustible que se utiliza en la cocción, cuyos componentes son:

- Material Particulado, MP
- Óxidos de Azufre, SO_x
- Óxidos de Nitrógeno, NO_x
- Monóxido de Carbono, CO

El material de deshecho utilizado por ladrilleras artesanales mayormente informales, compuesto por llantas usadas y aceite lubricante usado puede generar contaminantes de alta peligrosidad como Dioxinas, Furanos y otros Compuestos Orgánicos Volátiles; sin embargo los programas de erradicación y reemplazo que se vienen desarrollando en el país por el PRAL y el Ministerio de la Producción están reduciendo el uso de estos materiales como combustible y la tendencia es a su erradicación total en el muy corto plazo por lo que no son representativos de la actividad.

4.1.1 Compilación de LMPs para Emisiones en el Perú

En el Perú existen LMPs establecidos para emisiones de fuentes y actividades específicas que también tienen que ser considerados en el análisis. Asimismo, existe una propuesta en vías de aprobación, de LMPs para combustión en calderos y emisiones de SO₂ para hornos de cemento, la cual aunque aún no ha sido aprobada se encuentran en la etapa final de aprobación y constituye una buena referencia para emisiones de gases de combustión en el país por lo que se incluyen en la compilación que se muestra en el Cuadro 4.1 siguiente.

Cuadro 4.1. LMPs Establecidos para Emisiones diversas en el Perú

Norma	Refer.	Partículas	SO ₂	NO _x	CO	Área
RM 315-96-EM		100	750	500	-	MINERO METALÚRGICO
D.S. 003-2002-PRODUCE	Actividad en curso	250	2000 (1)	-	-	EMISIONES DE CEMENTERAS (PRODUCE)
	Proyecto Nuevo	150	1200 (1)	-	-	
Propuesta LMPs Calderas-Industriales (1)	Gas	0	300	320	100	EMISIONES DE COMBUSTIÓN
	Líquido	150	1500	600	350	
	Sólido	150	100	750	500	

(1) Propuesta de LMPs en proceso de aprobación

La fabricación de ladrillos es una actividad industrial con características que la relacionan con las actividades de fabricación de cemento y con la actividad metalúrgica debido a que en todas ellas la principal fuente de emisiones contaminantes es el horno de proceso. El D.S. 003-2002-PRODUCE, establece los LMPs para las emisiones de hornos de la industria cementera, y la R.M. 315-

96-EM establece LMPs para emisiones provenientes de unidades minero metalúrgicas.

4.1.2 Resultados de Monitoreo de emisiones en ladrilleras del Perú

Se han compilado datos de 27 monitoreos de emisiones atmosféricas de ladrilleras existentes en el país, procedentes del proceso de cocción de ladrillos en hornos tipo Túnel, Hoffman, Seriados, Escocés modificado y Horno Vertical.

En el Anexo N° 1 se adjunta el Cuadro con el listado completo incluyendo los Códigos de identificación utilizados para los gráficos comparativos.

4.1.3 Gráficos Comparativos de LMPs y Mediciones Reales

En los Gráficos 4.1 al 4.4 se muestran agrupados con fines de comparación los valores de los LMPs nacionales e internacionales establecidos para cada contaminante y los resultados de las mediciones reales efectuados a ladrilleras en el Perú. Todos los valores están expresados en mg/Nm³.

Material Particulado.

El promedio más frecuente de LMPs está en un valor de 150 mg/Nm³ el cual es superado solamente en dos casos de mediciones, ambos en una Ladrillera que cuenta con un horno de túnel el cual tecnológicamente no tendría mayores problemas ni inversiones que realizar para reducir dichos valores. Incluso el valor de 100 es superado solamente en cuatro casos o sea dos adicionales al anterior; uno de ellos es un horno de cámaras en serie de tecnología menor que los Hoffman o Túnel.

Dióxido de Azufre, SO₂

Los valores de los LMPs de este contaminante son muy variables en los diferentes países porque están relacionados con aspectos económicos, con el

contenido de azufre en los combustibles que se utilizan y a su vez con el tipo de combustible; en este sentido, la tendencia en el Perú es reducir el contenido de azufre en los combustibles fósiles por lo que en este caso no habría este tipo de restricciones. De igual manera, el carbón mineral utilizado en el Perú también tiene bajos contenidos de azufre (entre 0.1 y 1%). Las mediciones realizadas en hornos de ladrilleras muestran valores máximos del orden de 1300 mg/Nm³ y el promedio está muy por debajo de 1000. Cabe mencionar que el Carbón mineral es frecuentemente cargado en mezcla con otros combustibles sólidos.

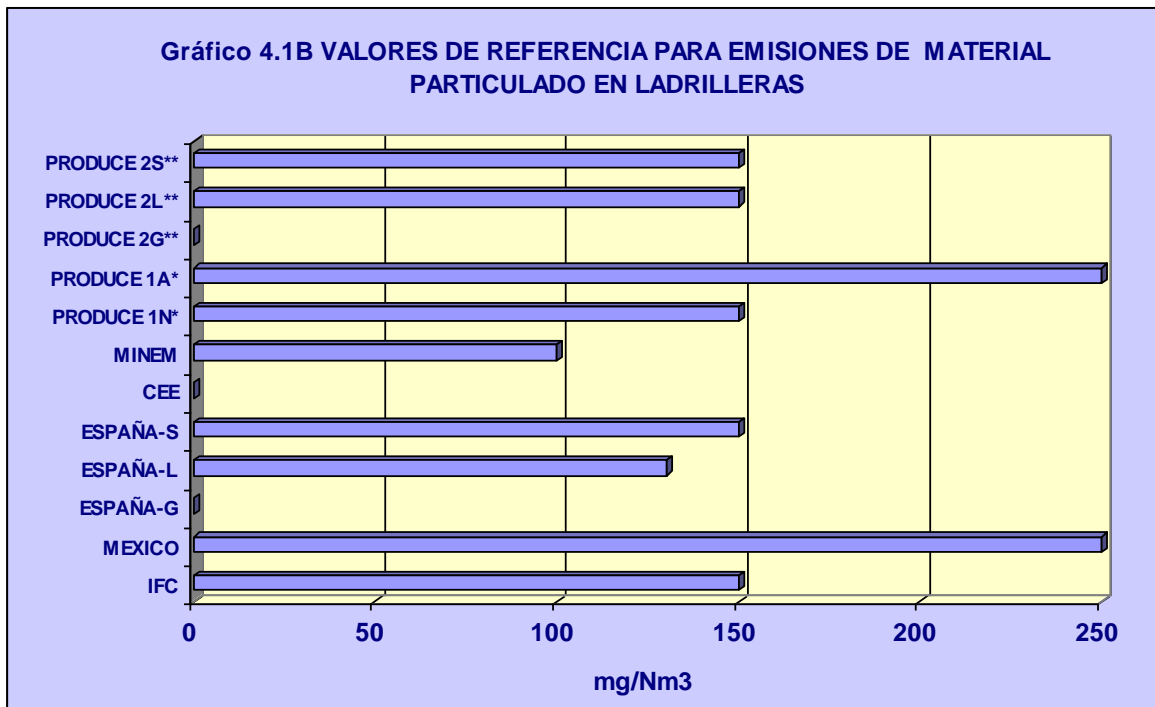
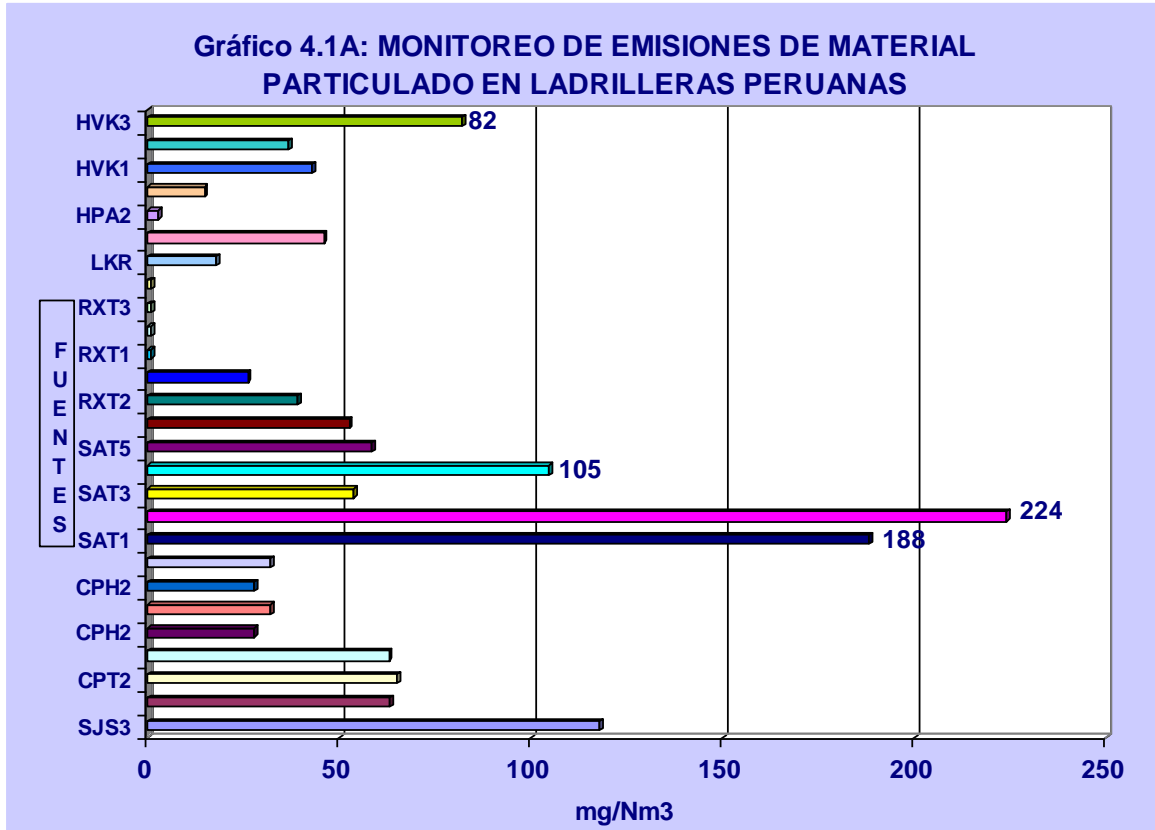
Óxidos de Nitrógeno

Los valores de LMPs de estos contaminantes llegan hasta 750 mg/Nm³ . Las emisiones medidas en hornos de ladrilleras en el país solo en un caso sobrepasan el valor de 800 y muy pocos pasan de 350-400.

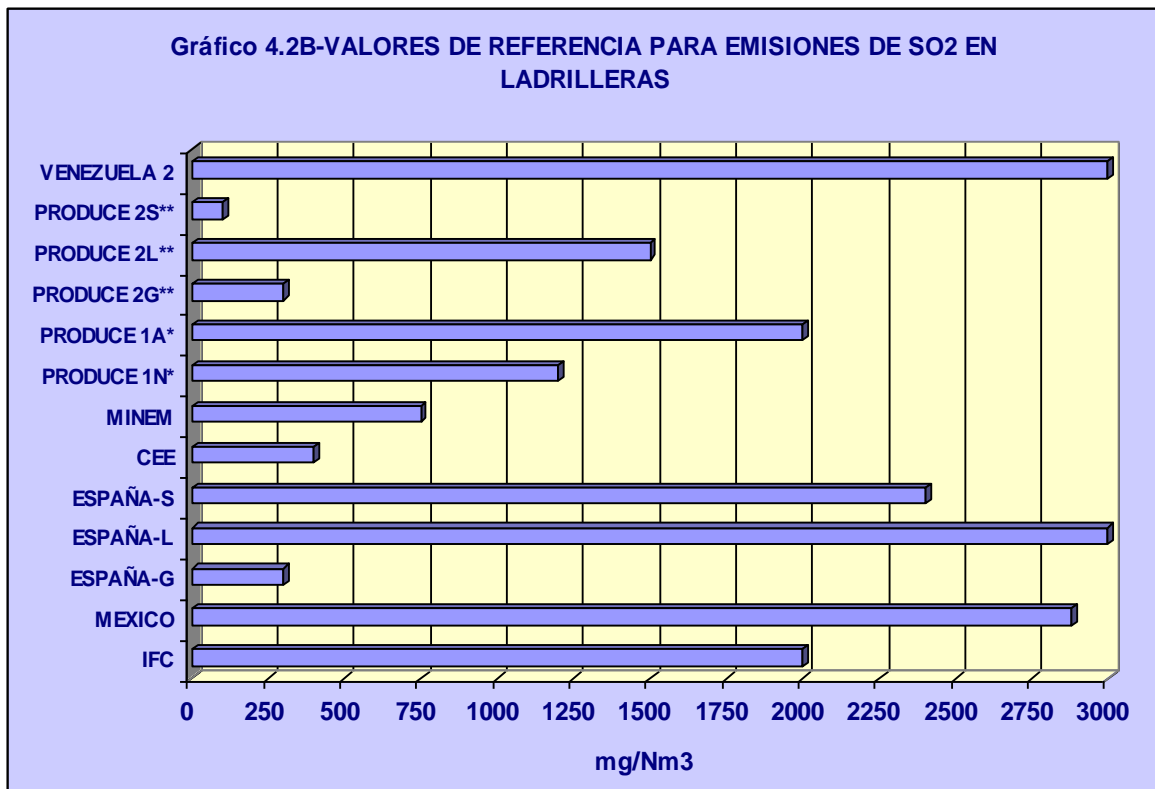
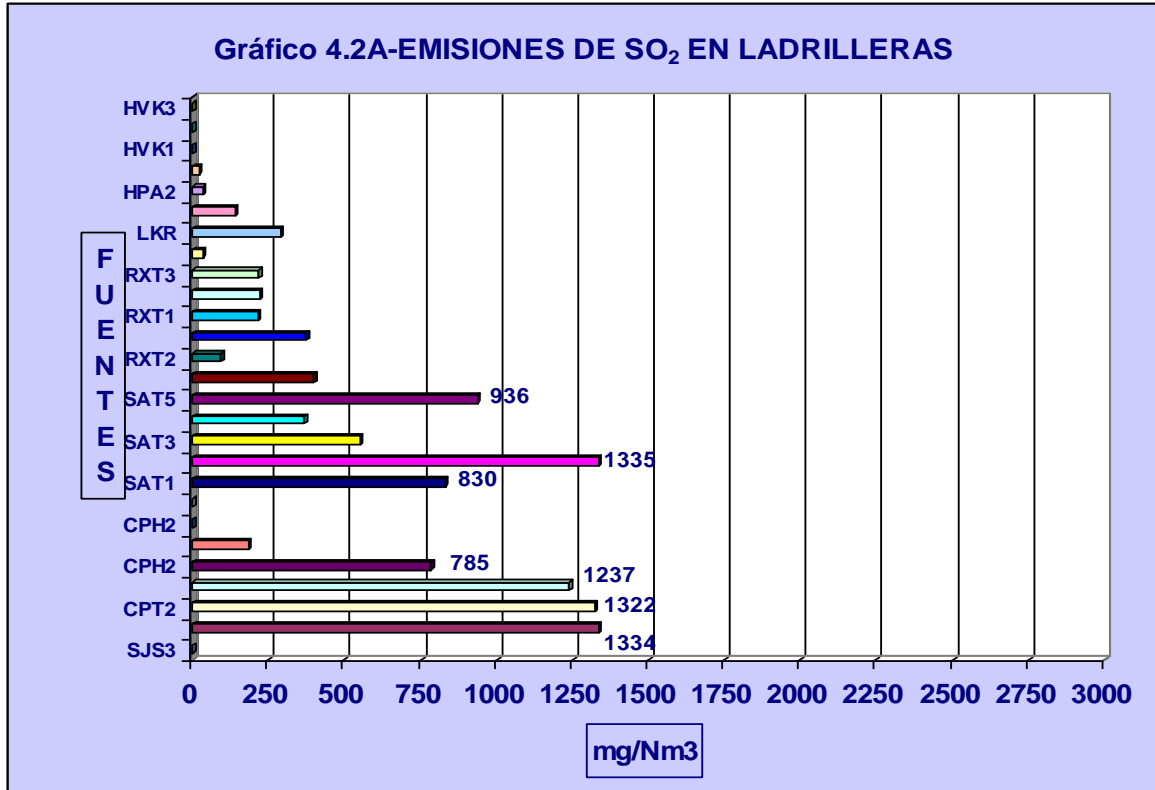
Monóxido de Carbono

No todos los países regulan las emisiones de CO. En la industria ladrillera de nuestro país, este contaminante es responsable del impacto visual de humos negros que son emitidos en chimeneas y ocasionan reclamos de las poblaciones vecinas por lo que su regulación se considera necesaria. Los valores referenciales de LMPs estudiados son muy variables llegando desde 300 mg/Nm³ hasta casi 3000. Las mediciones efectuadas en los hornos de ladrilleras peruanas han arrojado valores tan altos como 8200 pero también tan bajos como 77 o 115, lo que evidencia que los valores altos se originan más por deficiencias operativas que por tecnología disponible y por tanto la aplicación de buenas prácticas puede permitir a las ladrilleras reducir este valor.

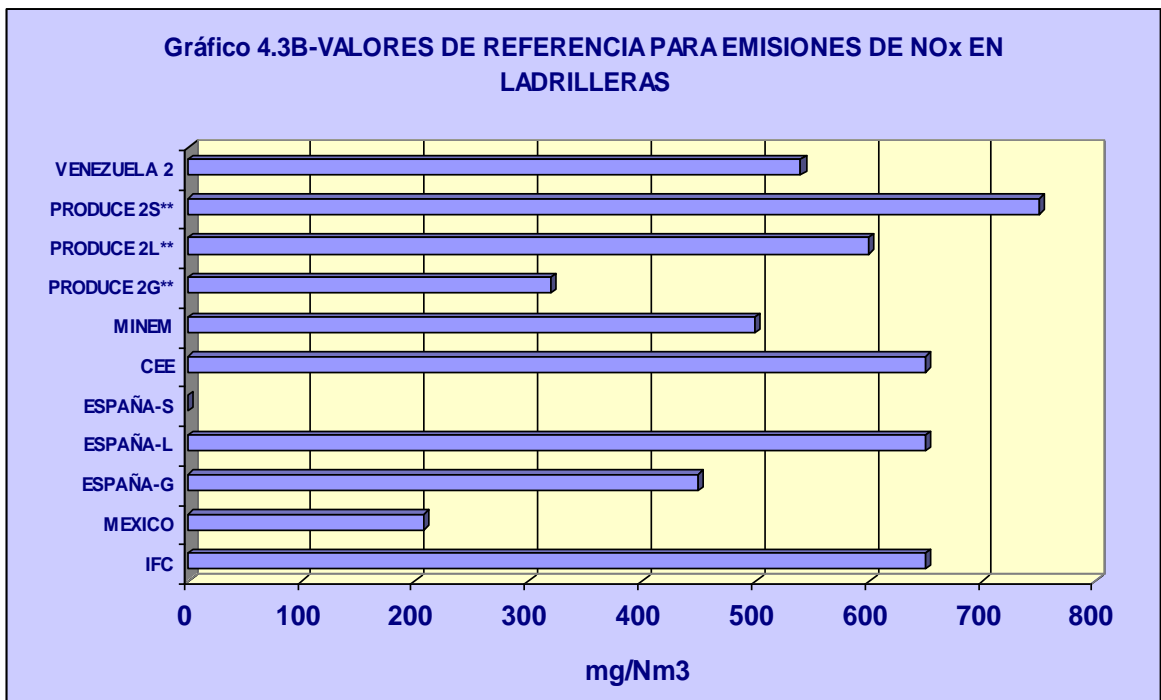
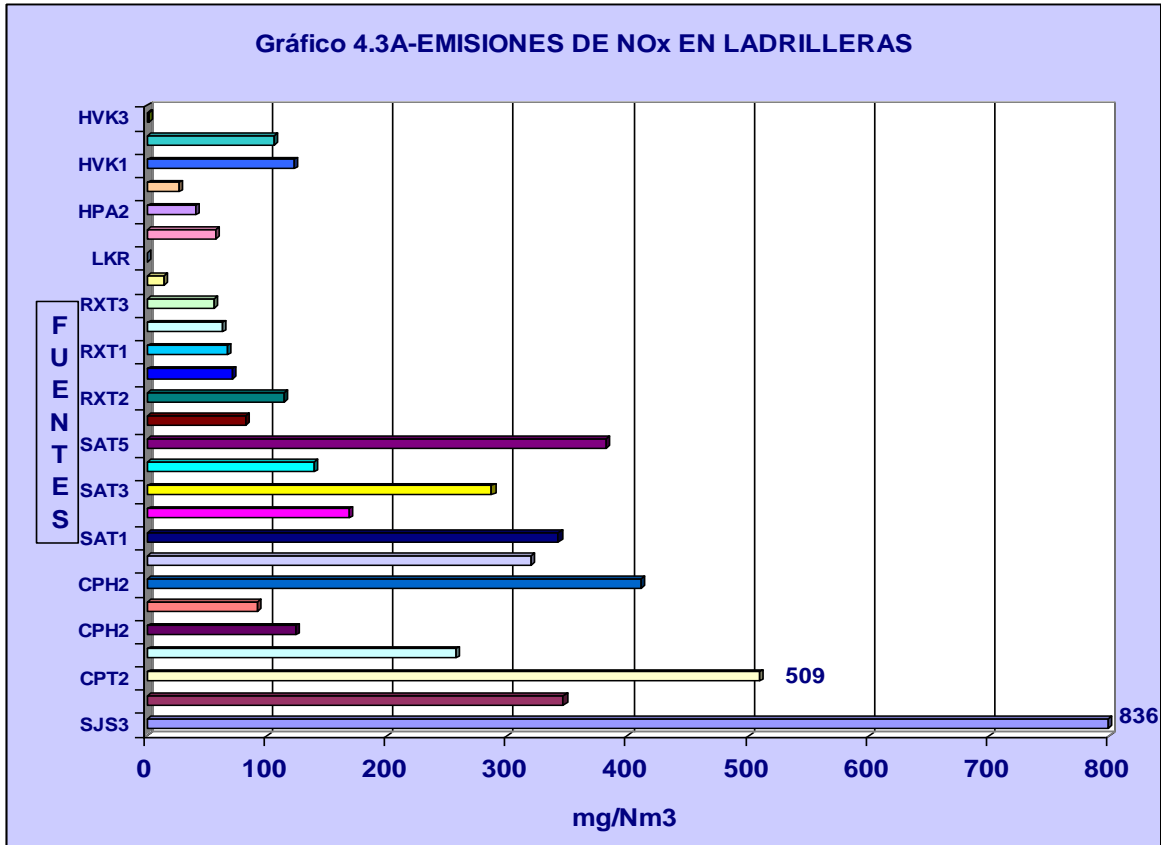
Material Particulado



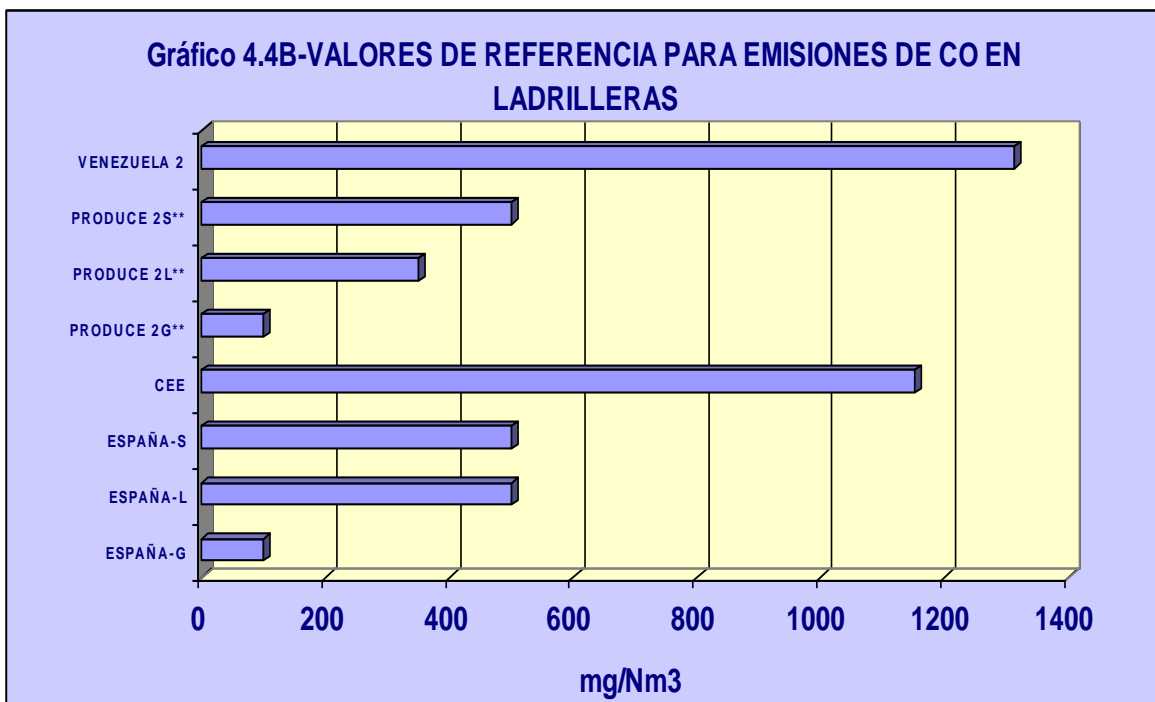
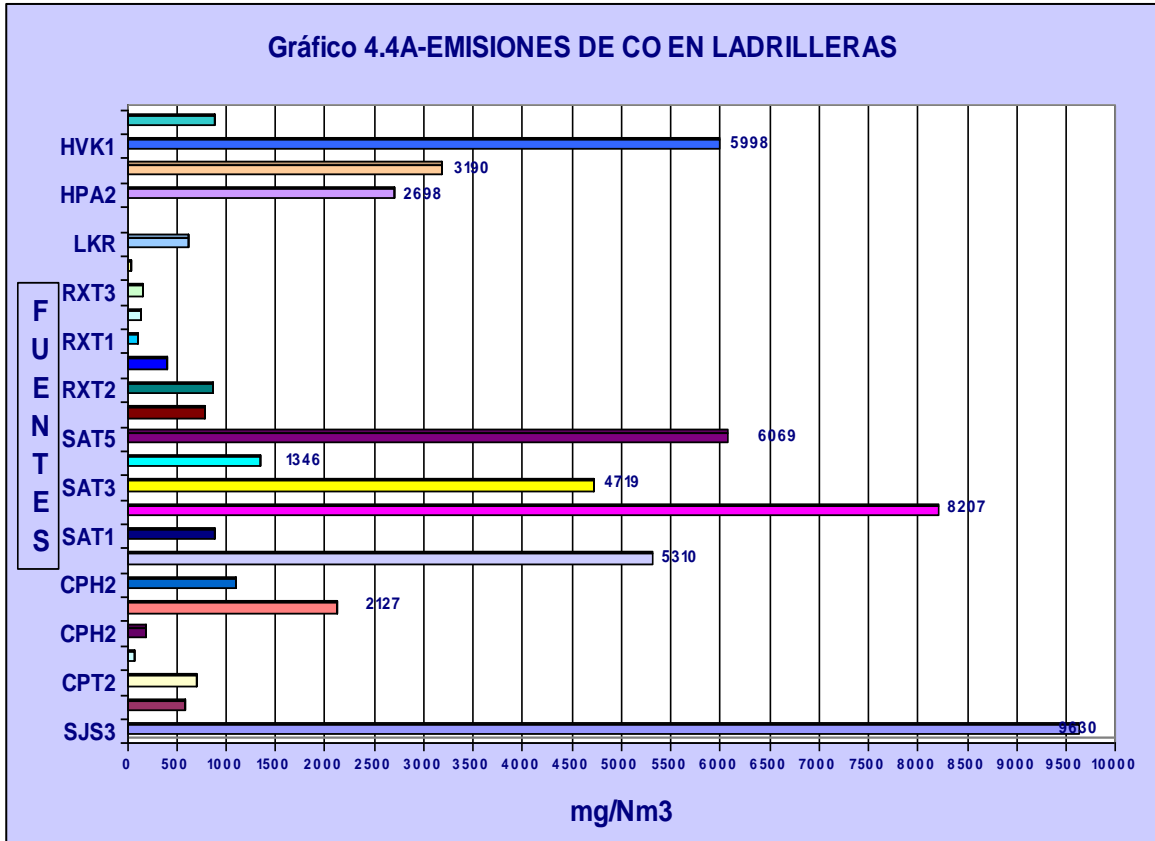
Dióxido de Azufre, SO₂



Óxidos de Nitrógeno, NOx



Monóxido de Carbono, CO



4.2 Propuesta de Parámetros y Valores para LMPs

4.2.1 Definición de Parámetros a Evaluar

Para definir los parámetros de emisiones atmosféricas a evaluar se debe considerar que la realidad de la industria ladrillera en nuestro País presenta los siguientes aspectos característicos:

- **Tecnología de Cocción.** Los hornos como el Escocés y de Parrilla ampliamente utilizado por las ladrilleras artesanales son de baja eficiencia estimada entre 60 y 70%; al contrario de los Hoffman y Túnel que aprovechan los gases calientes de la cocción para precalentar los ladrillos y reducir así los requerimientos de combustible incrementando la eficiencia de combustión hasta niveles de 90% y 95%.
- **Ubicación y Capacidad.** Las fábricas de ladrillos se ubican generalmente cerca de donde existe la materia prima principal que es la arcilla. Los hornos Escocés y Parrilla son de poca capacidad de producción, entre 2 y 30 millares llegando en algunos casos excepcionales a 40 millares de ladrillos por tanda de cocción, y al contrario de las ladrilleras de mayor tamaño que están localizadas en zonas puntuales, muchos hornos pequeños se encuentran agrupados en zonas geográficas específicas por lo que pueden ser considerados como fuentes de emisiones de área.
- **Facilidades para Medición Directa.** Los hornos tipo Hoffman y de Túnel utilizados por las ladrilleras de mayor tamaño y de mayor industrialización, poseen chimeneas en las que se pueden realizar mediciones directas de las emisiones de gases generados. Las mediciones directas con sondas isocinéticas proporcionan datos reales de la composición de los gases emitidos en chimeneas. Los hornos Escocés y Parrilla no tienen chimeneas y no se pueden hacer mediciones directas de las emisiones pero si pueden permitir cálculos por factores de emisión según el combustible que utilizan;

- **Alternativas a la Medición Directa.** La alternativa para determinar las emisiones generadas por las ladrilleras pequeñas donde no se pueden hacer mediciones directas de la composición de los gases emitidos, es el uso de la técnica de los Factores de Emisión del AP-42 o el de Inventario rápido de emisiones de la Organización Mundial de la Salud.

Los parámetros recomendados para monitoreo de emisiones procedentes de los hornos son los típicos para determinar las concentraciones de emisiones en los gases de combustión. En el Cuadro 4.1 se muestran los parámetros involucrados.

Cuadro 4.2. Parámetros recomendados para monitoreo de Emisiones en la industria ladrillera

Parámetro Contaminante	Unidad
Partículas, PTS	mg/m ³ N
Óxidos de Azufre, SO _x	mg/m ³ N
Óxidos de Nitrógeno, NO _x	mg/m ³ N
Monóxido de Carbono, CO	mg/m ³ N

Las características de las emisiones fugitivas de proceso deben ser monitoreadas al interior de las fábricas mediante la determinación de inmisiones o Calidad de Aire en las áreas de producción o sus alrededores y deben ser comparados con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire. En el Cuadro 4.2 se muestran los parámetros de medición recomendados para este fin.

Cuadro 4.2. Parámetros recomendados para monitoreo de Inmisiones en la industria ladrillera

Parámetro Contaminante	Unidad⁵
Partículas PTS (1)	ug/m ³ N
Óxidos de Azufre, SO _x	ug/m ³ N
Óxidos de Nitrógeno, NO _x	ug/m ³ N

⁵ ug[^]= microgramo; m³ N = metros cúbicos a condiciones normales: 25°C de temperatura y 1 Atmósfera de presión; l = litro; Kg = kilogramo.

4.3 Valores de LMPs propuestos para Ladrilleras en Perú

En base a los análisis comparativos efectuados respecto de las emisiones promedio de ladrilleras en el país, los LMPs para emisiones normados en el país y los LMP de otros países, así como tomando en cuenta la realidad de la industria ladrillera y las proyecciones referentes a las especificaciones y uso de combustibles en el país, proponemos a continuación los LMP para emisiones de la industria ladrillera

Cuadro 4.3. Propuesta de Límites Máximos Permisibles para Emisiones de la industria Ladrillera

Parámetro	Límites de Emisión en mg/Nm ³		
	Tipo de Combustible		
	Gas	Líquido	Sólido
Partículas PTS	--	150	150
Óxidos de Azufre SO _x	300	1,300	500
Óxidos de Nitrógeno NO _x	320	460	650
Monóxido de Carbono, CO	100	500	1000
Opacidad (Índice de Bacharach)	-	3	-

La mayoría de las ladrilleras ya cumplen con estos valores y se considera que pueden ser alcanzados sin mayores dificultades por las demás instalaciones.

El parámetro con los valores comparativamente más alto es el de Monóxido de Carbono y por ello se fija un valor con tendencia a la baja respecto a los valores registrados en los monitores realizados, debido a que este parámetro puede ser reducido mediante la aplicación de buenas prácticas.

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los valores de Límites Máximos Permisibles para la industria ladrillera han sido fijados tomando en cuenta datos de las emisiones promedio de ladrilleras en el país, los LMPs existentes para emisiones en el país y los LMP de otros países; así como considerando la realidad de la industria ladrillera nacional, las tecnologías en uso y las proyecciones referentes a las especificaciones y uso de combustibles en el país.
- Los tipos de hornos evaluados en las mediciones fueron: Túnel, Hoffman, Escocés y Multicámara. Cabe mencionar que en el país también se utilizan hornos de Parrilla.
- Los combustibles empleados en los hornos evaluados fueron: líquidos (Residual, Diesel), Gaseosos (Gas natural), y sólidos (Carbón mineral, aserrín de madera, madera de eucalipto, cáscara de café). Además también se utiliza como combustible madera de algarrobo, madera de lupuna, cáscara de arroz.
- Los LMP serán de aplicación a la operación normal de los hornos en el proceso de cocción.
- Las mediciones directas con sondas isocinéticas proporcionan datos reales de la composición de los gases emitidos en chimeneas. Los hornos Escocés y Parrilla no tienen chimeneas y no se pueden hacer mediciones directas de las emisiones pero si pueden permitir cálculos por factores de emisión según el combustible que utilizan.
- Las mediciones directas en chimenea se deberán efectuar de acuerdo con el Protocolo de Monitoreo de Emisiones Atmosféricas aprobado por Resolución Ministerial R.M. No. 026-2000-ITINCI del actual Ministerio de la Producción.
- En los casos que no se pueden hacer mediciones directas, como en los hornos que no tienen y no pueden instalarse chimeneas, las emisiones atmosféricas pueden ser calculadas en base a los factores de emisión utilizando la Guía de

la OMS⁶ o los factores de emisión AP-42 de la Agencia de de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) www.epa.gov/ttn/chief/ap42 que puede complementarse con la página www.epa.gov/appdstar/pdf/brochure.pdf

- Los resultados de las mediciones de emisiones se expresarán en mg/Nm³ corregidos a la siguiente concentración de Oxígeno de referencia: 3% (gas y líquidos) y 6% de oxígeno (sólidos); para lo cual se utilizará la siguiente fórmula:

$$C \text{ corregida} = C \text{ medida} * (21 - O_2 \text{ ref.}) / (21 - O_2 \text{ medido}).$$

Donde:

C corregida= concentración corregida del contaminante considerado.

C medida= concentración medida del contaminante considerado.

O₂ ref.= concentración de oxígeno de referencia (%).

O₂ medido.= concentración de oxígeno medido (%).

⁶ ECONOMOPOULOS, Alexander P. “Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire, Guía sobre técnicas para el inventario rápido de fuentes y su uso en la formulación de estrategias para el control ambiental”. Serie de Tecnología Ambiental de la OMS, OPS/CEPIS/PUB/02.92. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2002

6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Banco Mundial, Corporación Financiera Internacional (IFC), Guías Generales sobre Medio Ambiente, Emisiones al Aire y Calidad del Aire. 2007*
- *Decreto Presidencial 2225: Norma sobre la Contaminación Atmosférica*
- *ECONOMOPOULOS, Alexander P. “Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire, Guía sobre técnicas para el inventario rápido de fuentes y su uso en la formulación de estrategias para el control ambiental”. Serie de Tecnología Ambiental de la OMS, OPS/CEPIS/PUB/02.92. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2002*
- *Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL 1994 para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles. 1994*
- *PA Consulting, “Diagnóstico Ambiental del Subsector Cerámica y Ladrillos”, M. Casado, H. Cáceres et al. Documento preparado para CONAM y el Ministerio de la Producción. 2003*
- *PA Consulting, Estudio costo-efectividad para implementación de LMP’s en calderas, V. Arroyo, et al. 2004*
- *Página Web www.epa.gov/appdstar/pdf/brochure.pdf*
- *Página Web www.epa.gov/ttn/chief/ap42*
- *R.D. Nº 646/1991 Decreto de la Comunidad Económica Europea*
- *Reglamentación Ambiental de Cataluña (España): Decreto 319/1998 - Límites de emisión para instalaciones industriales de combustión e instalaciones de cogeneración.*
- *SWISSCONTACT, PRAL, Elaboración de Guía de Buenas Prácticas y Proyecto Demostrativo para Ladrilleras, Manuel Casado, 2005.*
- *USEPA, Code of Federal Regulations – CFR 40 PART 60 - Dc : Standards of Performance for Small Industrial-Commercial-Institutional Steam Generating Units..*

ANEXO

- 1) Cuadro de monitoreo de emisiones en hornos ladrilleros del Perú

ANEXO 1. RESULTADOS DE MONITOREOS EN CHIMENEAS DE LADRILLERAS EN PERÚ

EMPRESA/TIPO HORNO	CODIGO	FECHA	Partículas	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	HCT	Combustible		Opacidad
			mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	Tipo	% de S	IB
1 Lad. San José-Horno Serie 3	SJS3	17.05.02	118	0	836	9630	-	0	Carbón, Aserrín		
2 CEPERSA-Túnel 1	CPT1	23.09.08	63	1334	347	595	3	2	PR-500	1.22% de S	
3 CEPERSA-Túnel 2	CPT2	23.09.08	65	1322	509	705	2	2	PR-500	1.22% de S	
4 CEPERSA-Hoffman 1	CPH1	23.09.08	63	1237	257	78	3	2	PR-500	1.22% de S	
5 CEPERSA-Hoffman 2	CPH2	23.09.08	28	785	124	198	2	2	PR-500		
6 CEPERSA-Hoffman abierto	CPHA	23.09.08	32	183	93	2127	3	2	PR-500		
7 CEPERSA-Hoffman 2	CPH2	01.10.08	28	0	411	1101	2	-	PR-500		
8 CEPERSA-Hoffman abierto	CPHA	01.10.08	32	0	319	5310	1	-	PR-500		
9 Ladrillera SAGITARIO-Túnel	SAT1	2007-1T	188	830	342	887	-	-	PR-500		
10 Ladrillera SAGITARIO-Túnel	SAT2	2007-2T	224	1335	168	8207	-	-	PR-500		
11 Ladrillera SAGITARIO-Túnel	SAT3	2007-3T	54	551	287	4719	-	-	PR-500		
12 Ladrillera SAGITARIO-Túnel	SAT4	2006-DAP	105	365	139	1346	-	0	PR-500		
13 Ladrillera SAGITARIO-Túnel	SAT5	2006-DAP	59	936	382	6069	-	2	PR-500		
14 Ladrillera Rex-Horno 1 Túnel	RXT1	01/04/2006	53	398	82	783	-	-	R-6		
15 Ladrillera Rex-Horno 2 Túnel	RXT2	01/04/2006	39	92	115	873	-	-	R-6		
16 Ladrillera Rex-Horno 3 Túnel	RXT3	01/04/2006	26	372	72	408	-	-	R-6		
17 Ladrillera Rex-Horno 1 Túnel	RXT1	01/06/2007	1	215	68	115	-	-	GN		1
18 Ladrillera Rex-Horno 2 Túnel	RXT2	01/06/2007	1	220	64	138	-	-	GN		1
19 Ladrillera Rex-Horno 3 Túnel	RXT3	01/06/2007	1	217	55	163	-	-	GN		1
20 Ladrillera Rex-Horno 4 Hofm	RXH4	01/06/2007	1	34	14	36	-	-	GN		1
21 Ladrillera Kar S.A.	LKR	27/06/1905	18	288	0	623	-	-	Carbón, Aserrín		
22 Horno Piloto Artesanal-encendiendo	HPA1	01/10/2005	46	139	58	-	9	-	Carbón		
23 Horno Piloto Artesanal-encendido	HPA2	01/10/2005	3	34	41	2698	12	-	Carbón		
24 Horno Piloto Artesanal-en cocción	HPA3	01/10/2005	15	21	27	3190	8	-	Carbón		
25 Horno Vertical VSBK-encendiendo	HVK1	01/02/2006	43	-	123	5998	1	-	Carbón		
26 Horno Vertical VSBK-encendido	HVK2	01/02/2006	37	-	106	15500	1	-	Carbón		
27 Horno Vertical VSBK-en cocción	HVK3	01/02/2006	82		2	890	-		Carbón		

